

## ALTERACIONES HIDROTERMALES EN EL SECTOR NIDOS, PROYECTO MINERO EL PUESTO, MACIZO DEL DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Pilar MOREIRA<sup>1,2</sup>, Mercedes CARLINI<sup>1,2</sup>, Antonella LA CAMERA<sup>1</sup>, Raúl FERNANDEZ<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. Calle 64 y 120 (CP 1900), La Plata. E-mail: moreirapili@gmail.com

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

<sup>3</sup>Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CICBA)

### RESUMEN

Esta comunicación presenta los estudios realizados sobre las alteraciones hidrotermales del sector Nidos dentro del proyecto epitermal El Puesto, localizado en la región sud-occidental del Macizo del Deseado. A partir de las asociaciones minerales y su distribución se reconoció una zonación de alteraciones hidrotermales desde alteración argílica avanzada y silicificación cercana a la superficie hasta una alteración argílica intermedia con vetillas portadoras de metales preciosos, en profundidad. Estas alteraciones se desarrollan sobre un pórfido dacítico de edad jurásica. Se interpreta que la silicificación y la alteración argílica avanzada se originaron a partir de aguas ácidas calentadas por vapor (*steam heated*) como evidencia del accionar de fluidos hidrotermales próximos al nivel freático, mientras que la alteración argílica intermedia fue generada a partir de fluidos clorurados reducidos con pH neutro. Estas alteraciones hidrotermales junto con la mineralogía, texturas y geoquímica de las vetillas permiten clasificar a las manifestaciones hidrotermales del sector Nidos como epitermales someras de tipo baja sulfuración.

**Palabras clave:** depósitos epitermales, metales preciosos, fluidos hidrotermales.

### ABSTRACT

*Hydrothermal alterations in the Nidos sector, El Puesto mining project, Deseado Massif.* This summary reveals the studies made on the hydrothermal alteration in the Nidos sector, in the El Puesto epithermal project, located in the southwestern Deseado Massif.

Based on mineralogy and its distribution, a hydrothermal alteration zonation was defined from advanced argillic alteration and silification near surface, to a deeper intermediate argillic associated with a precious metal veinlet system. These alterations were identified in a dacytic composition subvolcanic intrusion of Jurassic age. A steam heated waters near the paleowater table was interpreted from advanced argillic alteration and silification, and the intermediate argillic alteration was produced by neutral pH chloride waters. The hydrothermal alteration, mineralogy, textures and geochemistry observed, fits with the epithermal low sulfidation type characteristic.

**Keywords:** epithermal deposits, precious metals, hydrothermal fluids.

### INTRODUCCIÓN

En la provincia geológica Macizo del Deseado, se reconocen numerosas mineralizaciones vetiformes epitermales de metales preciosos de tipo baja a intermedia sulfuración (e.g. Schalamuk et al. 1999, Fernández et al. 2008) que representan las parte profundas del sistema hidrotermal. Además se han preservado manifestaciones de los niveles más someros como depósitos de *hot spring*, brechas de erupción hidrotermal y alteraciones

argílicas avanzadas (Moreira y Fernández 2015 y bibliografía allí citada). El Proyecto minero El Puesto (propiedad de la empresa SJM S.A.) es un depósito epitermal aurífero localizado en la región sud-occidental del Macizo del Deseado, a 75 km al NE de la localidad Gobernador Gregores en Santa Cruz (Fig. 1a). Afloran rocas de la Formación Chon Aike (Jurásico medio a superior) y en menor proporción, coladas de basaltos pliocenos de la Formación La Angelita. Carlini et al. (2016) describen dentro de las unidades jurásicas, ignimbritas, brechas pi-

roclásticas, lavas riolíticas, pórfidos dacíticos y conglomerados polimícticos asociados a brechas tumalinizadas. Por un acuerdo de colaboración con la empresa SJM S.A., el Instituto de Recursos Minerales (INREMI-FCNyM-UNLP) viene realizando desde el año 2004, diversas tareas de exploración en dicho proyecto que han permitido definir algunas áreas de interés por metales preciosos como el sector Nidos, ubicado al oeste del proyecto. El objetivo de esta comunicación es presentar los estudios realizados sobre las alteraciones hidrotermales de este sector que representan niveles someros de un sistema epitermal de tipo baja sulfuración. Así como también interpretar los procesos y las características físico-químicas de los fluidos hidrotermales que les dieron origen.

### METODOLOGÍA

El estudio de las alteraciones hidrotermales se inició con un mapeo y muestreo detallado de los afloramientos. Con el fin de reconocer las mineralizaciones en profundidad, se analizaron los datos de los ~1000 m perforaciones que realizó SJM S.A. (informe interno SJM S.A.-INREMI). Luego de una minuciosa revisión de los testigos, se seleccionó la perforación NID-03, de la que se tomaron 25 muestras para ser estudiadas en gabinete. Se realizaron estudios con lupa binocular y con microscopía óptica (petrográficos) en el Instituto de Recursos Minerales de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata. Por su parte, se llevó a cabo un análisis por difracción de Rayos X de 17 muestras para el estudio de alteraciones hidrotermales en el CIG (Centro de Investigaciones Geológicas).

### ALTERACIONES HIDROTERMALES EN EL SECTOR NIDOS

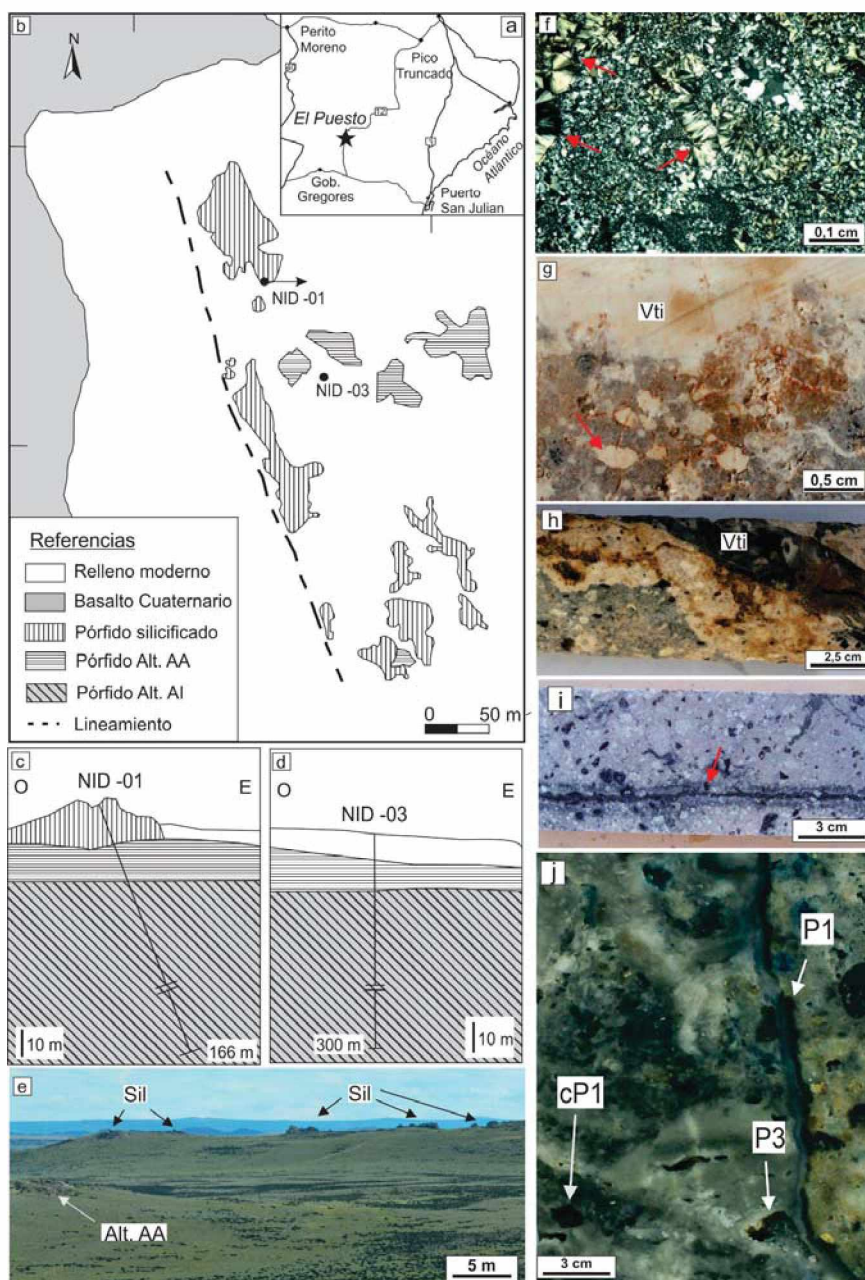
En el sector estudiado aflora un pórfido dacítico a lo largo de una faja de ~1 km<sup>2</sup> en sentido NNO que está estructuralmente controlado por una zona de falla del mismo rumbo (Fig. 1b). Esta unidad presenta una intensa alteración hidrotermal, principalmente en superficie, que coincide con expresiones topográficas positivas. A partir de las asociaciones minerales y su distribución se definieron los siguientes tipos de alteración hidrotermal: silicificación, alteración argílica avanzada, alteración argílica intermedia y alteración supergénica. Estas alteraciones hidrotermales afectan a una roca con textura porfírica seriada conformada por abundantes fenocristales de cuarzo ahumado (hasta 7 mm), tablillas de plagioclasa (hasta 6 mm) y en menor medida biotita y un posible anfíbol (~1 mm) en una pasta microcristalina compuesta principalmente por tablillas de plagioclasa y argilominerales. Se trata de una roca homogénea y que lleva esporádicamente pequeños fragmentos líticos verdosos de una roca afanítica.

La silicificación está representada por un intenso reemplazo penetrativo silíceo del pórfido que se manifiesta en superficie como cuerpos de cuarzo blanquecino de grano muy fino y macizo que forman crestones que resaltan en el terreno, conformando un nivel subhorizontal de hasta ~4 m de espesor (Fig. 1b, c, e y f). Al microscopio la textura original de la roca está obliterada por un mosaico de cuarzo microcristalino anhedral, conservándose solamente los fenocristales de cuarzo. Se han identificado numerosas texturas de recristalización tales como texturas en mosaico, llameante y plumoso así como también cavidades drusiformes rellenas de cuarzo sacaroide y en peine (Fig. 1f). Los análisis por DRX indican la presencia de caolinita acompañando al cuarzo. En los asomos aledaños a la zona de falla NNO, se encontraron brechas tectónicas con textura predominantemente clasto sostén conformadas por clastos angulosos blanquecino del pórfido silicificado de ~5 mm que están cementados por cuarzo microcristalino acompañado de abundantes tinciones limoníticas. Los análisis geoquímicos realizados sobre estas rocas arrojaron valores anómalos de Hg, As y Sb (informe interno SJM S.A.-INREMI).

La alteración argílica avanzada se manifiesta en pequeños afloramientos y subafloramientos que se distribuyen en los niveles topográficos más bajos y ligeramente hacia el este de la silicificación (Fig. 1b y e). Asimismo a partir de la información brindada por las perforaciones se pudo determinar que se presenta como un nivel subhorizontal de hasta ~10 metros de espesor por debajo de la silicificación (Fig. 1c y d). En algunos sectores se presenta como un reemplazo penetrativo de toda la roca y en otros afecta solamente a los fenocristales de feldespatos y parte de la pasta del pórfido (Fig. 1g). También se manifiesta como relleno de vetillas masivas de coloración blanquecina de hasta ~3 cm (Fig. 1g). Está compuesta por un agregado blanquecino muy fino de caolinita + alunita ± dickita acompañados por pirita oxidada. La alunita, identificada por DRX, se determinó en los sectores próximos a la silicificación (Fig. 2a). Algunas de estas vetillas se registraron hasta los ~45 m de profundidad superponiéndose, a los primeros metros de la alteración argílica intermedia.

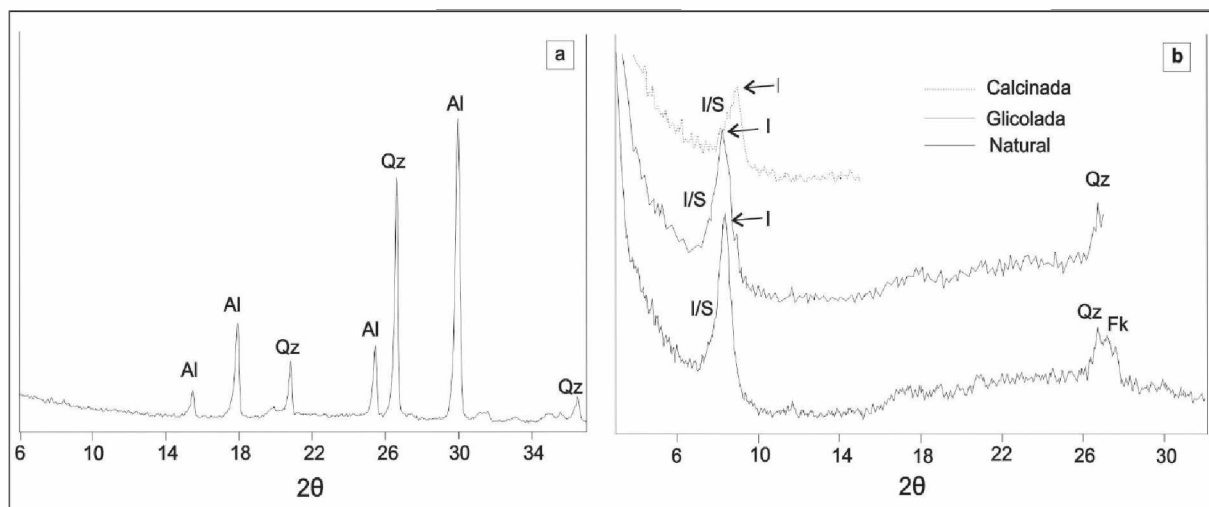
La alteración argílica intermedia tiene una intensidad débil a moderada y se desarrolla a partir de los ~20 m hasta los 300 m de profundidad (Fig. 1c y d). Lleva asociado un sistema de vetillas, principalmente sub-verticales, de hasta 7 cm de espesor con un halo blanquecino de alteración de hasta 2,5 cm conformado por illita-sericita ± adularia ± pirita (Fig. 1h) que grada, hacia la periferia de las vetillas a una asociación compuesta por principalmente por illita-sericita acompañada por menores cantidades de interestratificados de illita/esmectita (ricos en material illítico) ± pirita (Fig. 2b).

Los argilominerales reemplazan principalmente a los



**Figura 1.** a. Ubicación del proyecto minero El Puesto. b. Mapa geológico del sector Nidos. c. Perfil esquemático de la perforación NID-01. d. Perfil esquemático de la perforación NID-3. e. Vista regional de los afloramientos silicificados (Sil) y con alteración argílica avanzada (Alt. AA) del sector Nidos. f. Fotomicrografía de mosaico de cuarzo microcristalino con texturas de recrystalización (flechas). g. Alteración argílica avanzada (blanco) como relleno de vetillas (vti) y como reemplazo de los feldespatos del pórfido (flecha) junto a limonitas (rojizas) producto de la oxidación supergénica de pirita. h. Vetilla (Vti) de cuarzo microcristalino de coloración gris y blanquecina rodeada por un halo blanquecino rosado de alteración argílica intermedia rico en illita-sericita  $\pm$  adularia  $\pm$  pirita. i. Delgada vetilla con relleno de primer pulso rico en sulfuros (flecha) alojada en pórfido con alteración argílica intermedia. j. Vetilla rellena de cuarzo microcristalino del segundo pulso que lleva en el contacto con la roca de caja una delgada banda del primer pulso (P1) y pequeños clastos diseminados (cP1) así como también cavidades con cristales de cuarzo en peine del tercer pulso (P3). Nota: Alt. AA: alteración argílica avanzada. Alt. AI: alteración argílica intermedia.





**Figura 2a.** Difractograma de Rayos X que confirma la presencia de alunita (Al) en la alteración argílica avanzada. b. Difractograma de Rayos X donde se identifican: illita-sericita (I) y los interestratificados de illita/esmectita ricos en material illítico (I/S) que caracterizan la alteración argílica intermedia. Nota: Qz: cuarzo; Fk: feldespato potásico. Muestra al estado natural seca al aire y muestra calcinada a 550°C.

fenocristales de feldespatos y a la matriz del pórfido dacítico. Las vetillas están conformadas por un primer pulso rico en sulfuros de grano fino con textura masiva (pirita + arsenopirita ± cuarzo microcristalino gris) que se deposita principalmente como relleno de vetillas muy delgadas y/o en los bordes de las vetillas de mayor espesor (Fig. 1i y j). Le sigue un segundo pulso de cuarzo sacaroide blanquecino a gris ± adularia ± calcita reemplazada pseudomórficamente por cuarzo, que hacia los bordes de las vetillas desarrolla una textura bandeada colorforme incipiente (Fig. 1j). Este pulso esporádicamente lleva clastos de hasta 1,5 cm de diámetro ricos en sulfuros correspondiente al primer pulso (Fig. 1j). Finalmente se deposita un tercer pulso de cuarzo cristalino translúcido con textura en peine que rellena cavidades de hasta 2-3 cm de diámetro (Fig. 1j).

Se determinó que en ocasiones, esta mineralización también se manifiesta como rellenos irregulares o como reemplazos diseminados y/o en parches. Estas vetillas revelaron valores anómalos de metales preciosos que superan los 3,00 g/t de Au y los 25 g/t de Ag asociados a altos tenores de As, Sb y Hg (informe interno SJM S.A.-INREMI).

Hasta la profundidad reconocida aunque con mayor predominio en los primeros 50 m de profundidad, estas vetillas están afectadas por una alteración supergénica donde la pirita está reemplazada por limonitas y jarosita acompañadas por caolinita supergénica y yeso.

## DISCUSIÓN

La distribución de las alteraciones hidrotermales refleja el comportamiento de los distintos fluidos que tuvieron lugar durante la evolución de un depósito mineral. Los valores de oro de mayor interés se registran en la zona de alteración argílica intermedia que rodea al sistema de vetillas, en los contactos de estas y hasta unos pocos centímetros se distingue la asociación illita-sericita ± adularia ± pirita que refleja zonas de alta permeabilidad próximas a los canales a través de los cuales circulan los fluidos hidrotermales (Browne, 1978). En sistemas geotermiales activos, esta asociación mineral estaría relacionada a la circulación de fluidos clorurados reducidos de pH neutro con temperaturas superiores los 220°C (Simmons et al. 2005). En niveles más distales de las vetillas, esta alteración grada a la asociación compuesta por illita-sericita + interestratificados de illita/esmectita ± pirita. En sistemas geotermiales activos, la co-existencia de illita-sericita con interestratificados de illita/esmectita indica temperaturas de formación cercanas a ~220°C (Simmons et al. 2005).

La presencia de adularia y calcita reemplazada pseudomórficamente en el segundo pulso evidencian procesos de ebullición para estos fluidos como mecanismo de deposición de los metales (Simmons et al. 2005). Como consecuencia de procesos de ebullición los gases disueltos se separan del líquido y ascienden a la superficie. Estos gases se condensan al alcanzar las aguas superficiales frías para formar las aguas sulfatadas calentadas por fase vapor (*steam heated waters*). Estas aguas se for-

man en la zona vadosa donde el  $H_2S$  se oxida a  $H_2SO_4$ , con pH ácidos (2) y a una temperatura de entre 100 a 120°C (Hedenquist et al. 2000, Sillitoe 2015). Bajo estas condiciones, son capaces de disolver la mayoría de los minerales, generando una alteración argílica avanzada compuesta por ópalo, caolinita, alunita y piritita (Hedenquist et al. 2000, Sillitoe 2015). Su distribución es de tipo mantiforme (*blankets*) y se ubican ocupando la posición del paleonivel freático, con espesores variables dependiendo de las variaciones del nivel freático (por ejemplo erosión, erupciones hidrotermales, Ebert y Rye 1997; Hedenquist et al. 2000; Simmons et al. 2005). Las evidencias encontradas en el área estudiada permiten interpretar un manto con un espesor de ~ 14 metros. Las texturas de recristalización identificadas en el cuarzo microcristalino así como también las cavidades drusiformes rellenas de cuarzo sacaroide y en peine evidencian la precipitación de la sílice a temperaturas menores a 120°C (Dong et al. 1995). La distribución de estas alteraciones depende de la topografía y los gradientes hidráulicos. En el sector estudiado esta alteración está sobreimpuesta a la alteración argílica intermedia por lo que se interpreta que el relieve ha sido bajo ya que las aguas calentadas por fase vapor (*steam-heated waters*) tuvieron lugar por encima y alrededor de la pluma de aguas cloruradas. La caolinita encontrada en profundidad (hasta ~ 45 metros) podría explicarse debido a la canalización de los fluidos ácidos en profundidad a través de fracturas, procesos que según Hedenquist et al. (2000) en algunos depósitos llegan hasta los 150 metros de profundidad.

Finalmente, el accionar de aguas meteóricas ha causado la oxidación de la piritita debido a procesos supergénicos. Posiblemente el descenso de estas aguas a niveles profundos se vio favorecido por la actividad de las fallas a lo largo de la formación del sistema de vetillas.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se reconoce una zonación de alteraciones hidrotermales desde alteración argílica avanzada y silicificación cercana a la superficie hasta una alteración argílica intermedia con vetillas portadoras de metales preciosos, en profundidad. Estas alteraciones se desarrollan sobre un pórfido dacítico jurásico, a las que se les sobreimpone una alteración supergénica. Se interpreta que la silicificación y la alteración argílica avanzada se han originado a partir de aguas ácidas calentadas por vapor (*steam heated*), que evidencia el accionar de fluidos hidrotermales próximos al nivel freático. Asimismo la alteración argílica intermedia y la mineralización asociada son el producto de fluidos clorurados reducidos con pH neutro, más profundos. Estas alteracio-

nes hidrotermales junto con la mineralogía, texturas y geoquímica de las vetillas permiten clasificar a las manifestaciones del sector Nidos como epitermales someras de tipo baja sulfuración. El reconocimiento de estas alteraciones hidrotermales contribuye a un mayor conocimiento del nivel de exposición de los sistemas hidrotermales jurásicos en el Macizo del Deseado.

## AGRADECIMIENTOS

A la empresa SJM S.A. por haber permitido la publicación de los resultados de este trabajo. Al Centro de Investigaciones Geológicas (FCNyM-UNLP) por los análisis de DRX.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Browne, P. R. L. 1978. Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6 (1): 229-248.
- Carlini M., Moreira P., Echeveste H., Tessone M. y Fernández R. 2016. Caracterización de la brecha turmalinizada del "cerro Negro", proyecto minero El Puesto, Macizo del Deseado. *Acta Geológica Lilloana* 28 (1): 64-68.
- Dong, G., Morrison, G. W. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland: Classification, origin and implications. *Economic Geology* 90 (6): 1841-1856.
- Ebert, S.W. y Rye, R.O. 1997. Secondary precious metal enrichment by steam-heated fluids in the Crowfoot-Lewis hot spring gold-silver deposit and relation to paleoclimate. *Economic Geology* 92: 578-600.
- Fernández, R.R., Blesa, A., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietuk, K., Andrada de Palomera, P. y Tessone, M. 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 665-681.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. y González-Urrien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Society of Economic Geologists Reviews* 13 (7): 245-277.
- Moreira, P. y Fernández, R. 2015. La Josefina Au-Ag deposit (Patagonia, Argentina): A Jurassic epithermal deposit formed in a hot spring environment. *Ore Geology Reviews* 67: 297-313.
- Schalamuk, I., de Barrio, R., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H. 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En Zappettini E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188, Buenos Aires.
- Sillitoe, R.H. 2015. Epithermal paleosurfaces. *Mineralium Deposita* 50 (7): 767-793.
- Simmons, S.F., White, N.C. y John, D.A. 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. En: Hedenquist, J.W., et al. (eds.) *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume 1905-2005*: 485-522, Littleton (Colorado).